

Studi Penentuan Lokasi *Distributed Generation* (DG) untuk Mengurangi Rugi-Rugi Daya pada Sistem Jaringan Distribusi Radial menggunakan Metode *K-means Clustering*

Muhammad Alief Amanullah, Ontoseno Penangsang, Ni Ketut Aryani
Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
Jl. Arief Rahmanto Hakim, Surabaya 60111
E-mail: alief12@mhs.ee.its.ac.id, ontosenop@ee.its.ac.id, ketut.aryani@gmail.com

Abstrak— Salah satu cara untuk mengatasi permasalahan rugi daya yang timbul pada sistem distribusi adalah dengan menempatkan *distributed generation* (DG). Penggunaan DG dapat menjadi solusi untuk peningkatan kemampuan jaringan mulai dari pengurangan rugi daya, perbaikan profil tegangan, kualitas daya serta operasi keandalan. Namun studi menunjukkan bahwa pemilihan dan penempatan DG yang tidak tepat dapat membawa sistem kepada kerugian yang lebih besar dibandingkan dengan sistem tanpa DG. Untuk itu diperlukan sebuah studi dan perencanaan sebelum mengintegrasikan DG pada jaringan distribusi. Dalam Tugas akhir ini akan digunakan metode *K-means Clustering* yang akan mengelompokkan setiap bus dari sudut pandang operasi karakteristik *loss sensitivity factor* (LSF) dan deviasi tegangan (dV). Dengan penggunaan metode ini penentuan lokasi DG untuk *single* dan *multi* DG akan didapatkan sebagai solusi untuk perbaikan nilai rugi daya. Kasus B1 yang merupakan base case memiliki nilai rugi daya total sebesar 39,2436 kW. Setelah dilakukan penempatan *single* DG hingga *multi* DG berdasarkan *K-means Clustering*, didapatkan hasil pengurangan rugi daya terbaik untuk kasus B menjadi 6,050 kW pada pemasangan 3 DG.

Kata Kunci— *Loss Sensitivity Factor*, *K-means Clustering*, Sistem distribusi radial, *Distributed Generation*, *Negative PQ load model*

I. PENDAHULUAN

Perkembangan sistem distribusi radial yang semakin besar dan kompleks saat ini menyebabkan rugi-rugi daya yang timbul lebih tinggi dan profil tegangan yang buruk. Studi menunjukkan bahwa hampir 10-13% dari total daya yang dihasilkan hilang sebagai kerugian saluran yang menyebabkan peningkatan biaya energi dan profil tegangan yang buruk sepanjang saluran distribusi [1]. Saat ini telah banyak solusi yang ditawarkan seperti pemasangan kapasitor dan *Distributed Generation* (DG). DG atau pembangkit tersebar menjadi alternatif yang menarik untuk perencanaan sistem tenaga dan kontribusinya memberikan dampak yang signifikan pada efisiensi dan performa sistem. Penelitian menunjukkan bahwa penggunaan DG pada sistem distribusi tenaga listrik dapat menjadi solusi untuk peningkatan kemampuan jaringan mulai dari perbaikan profil tegangan, mengurangi rugi daya, kualitas daya serta

operasi keandalan [2]. Dalam beberapa tahun terakhir, DG telah menjadi topik yang banyak diteliti mengingat meningkatnya kekhawatiran global akan masalah lingkungan yang ditimbulkan oleh pembangkit konvensional.

Namun pada implementasinya, penggunaan DG dalam sistem distribusi memiliki beberapa parameter yang harus diperhatikan seperti kapasitas maksimal yang akan digunakan dan lokasi penempatan DG. Studi menunjukkan bahwa penempatan DG yang tidak tepat dapat membawa sistem kepada kerugian yang lebih besar dibandingkan dengan sistem tanpa DG [3]. Untuk itu diperlukan sebuah studi dan perencanaan sebelum mengintegrasikan DG pada jaringan distribusi.

Dalam tugas akhir ini akan diusulkan studi penentuan penempatan DG menggunakan metode *K-means Clustering*. Metode ini akan mengelompokkan setiap node dalam sistem dari sudut pandang operasi karakteristik LSF (*loss sensitivity factor*) dan dV (deviasi tegangan) yang masing-masing telah dinormalisasi. Hasil pengelompokan setiap bus dengan metode *K-means Clustering* akan menjadi dasar dalam penentuan lokasi pemasangan DG pada saluran distribusi IEEE 33, 34 dan 69 bus. Dengan penggunaan metode ini penentuan lokasi DG akan didapatkan sebagai solusi untuk perbaikan nilai rugi-rugi daya sistem jaringan distribusi baik dengan pemasangan *single* DG maupun *multi* DG. distribusi.

II. METODE ALIRAN DAYA

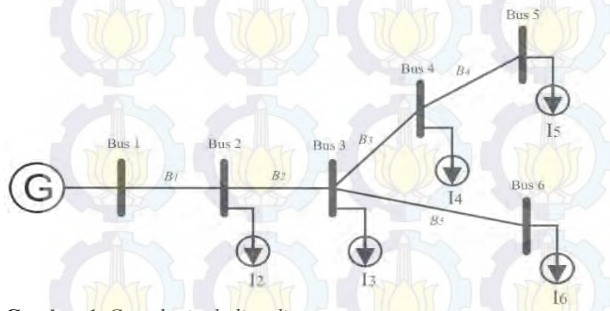
Metode perhitungan analisis aliran daya *backward forward* banyak telah banyak digunakan terutama pada sistem distribusi yang memiliki topologi radial dan rasio R/X yang tinggi. Banyak pengembangan yang dilakukan untuk metode *backward forward*. Pengembangan dilakukan untuk mempercepat proses perhitungan dan mengakomodir perhitungan beban tiga fasa tidak seimbang.

Pada Tugas Akhir ini metode yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan aliran daya adalah metode *backward – forward sweep*. Berikut tahapan dari metoda *Forward – Backward Sweep* :

1. Langkah pertama yang dilakukan adalah *backward sweep*, yaitu menghitung besar arus yang mengalir pada saluran diawali pembentukan matrik BIBC (*Bus Injection to Branch Current*). Besar arus saluran dapat dinyatakan dalam persamaan :

$$I_k = \left(\frac{P_k + jQ_k}{V_k} \right)^* \quad (1)$$

Dimana I_k, P_k, jQ_k, V_k adalah nilai arus, daya aktif, daya reaktif dan tegangan pada bus k



Gambar 1. Contoh single line diagram

Sebuah sistem distribusi sederhana pada Gambar 1 menyuplai beban yang tersebar dengan jalur tertentu. Maka untuk mendapatkan matriks BIBC, berdasarkan hukum arus Khirchoff didapatkan persamaan sebagai berikut :

$$B_5 = I_6 \quad (2)$$

$$B_4 = I_5 \quad (3)$$

$$B_3 = I_4 + I_5 \quad (4)$$

$$B_2 = I_3 + I_4 + I_5 + I_6 \quad (5)$$

$$B_1 = I_2 + I_3 + I_4 + I_5 + I_6 \quad (6)$$

Persamaan injeksi arus ke bus di atas dapat diringkas perhitungan selanjutnya dengan menggunakan matriks.

$$\begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \\ B_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_2 \\ I_3 \\ I_4 \\ I_5 \\ I_6 \end{bmatrix} \quad (7)$$

Persamaan matrik di atas dapat dirumuskan menjadi model persamaan dengan komponen matrik BIBC (*Bus Injection to Branch Current*).

$$[B] = [BIBC][I] \quad (8)$$

- Langkah kedua adalah *forward sweep* untuk menghitung nilai drop tegangan pada setiap bus yang diawali dengan pembentukan matrik BCBV (*Branch Current to Branch Voltage*). Hubungan antara percabangan arus dan tegangan bus dapat ditentukan berdasarkan hukum Khirchoff untuk tegangan. Sebagai contoh, untuk hubungan antara percabangan arus dan tegangan bus pada Gambar 1 dapat dibentuk persamaan:

$$V_2 = V_1 - B_1 \cdot Z_{12} \quad (9)$$

$$V_3 = V_2 - B_2 \cdot Z_{23} \quad (10)$$

$$V_4 = V_3 - B_3 \cdot Z_{34} \quad (11)$$

$$V_5 = V_4 - B_4 \cdot Z_{45} \quad (12)$$

$$V_6 = V_3 - B_5 \cdot Z_{26} \quad (13)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan diatas, dapat diperoleh persamaan di bawah ini :

$$V_2 = V_1 - B_1 \cdot Z_{12} \quad (14)$$

$$V_3 = V_1 - B_1 \cdot Z_{12} - B_2 \cdot Z_{23} \quad (15)$$

$$V_4 = V_1 - B_1 \cdot Z_{12} - B_2 \cdot Z_{23} - B_3 \cdot Z_{34} \quad (16)$$

$$V_5 = V_1 - B_1 \cdot Z_{12} - B_2 \cdot Z_{23} - B_3 \cdot Z_{34} - B_4 \cdot Z_{45} \quad (17)$$

$$V_6 = V_1 - B_1 \cdot Z_{12} - B_2 \cdot Z_{23} - B_5 \cdot Z_{26} \quad (18)$$

Maka drop tegangan dapat dihitung menjadi sebagai berikut :

$$V_1 - V_2 = B_1 \cdot Z_{12} \quad (19)$$

$$V_1 - V_3 = B_1 \cdot Z_{12} - B_2 \cdot Z_{23} \quad (20)$$

$$V_1 - V_4 = B_1 \cdot Z_{12} - B_2 \cdot Z_{23} - B_3 \cdot Z_{34} \quad (21)$$

$$V_1 - V_5 = B_1 \cdot Z_{12} - B_2 \cdot Z_{23} - B_3 \cdot Z_{34} - B_4 \cdot Z_{45} \quad (22)$$

$$V_1 - V_6 = B_1 \cdot Z_{12} - B_2 \cdot Z_{23} - B_3 \cdot Z_{34} - B_4 \cdot Z_{45} - B_5 \cdot Z_{26} \quad (23)$$

Persamaan di atas dapat dibentuk dan diselesaikan menggunakan suatu bentuk matrik dengan komponen matrik BCBV (*Branch Current to Branch Voltage*).

$$\begin{bmatrix} V_1 - V_2 \\ V_1 - V_3 \\ V_1 - V_4 \\ V_1 - V_5 \\ V_1 - V_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & 0 & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & Z_{45} & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & 0 & 0 & Z_{36} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \\ B_5 \end{bmatrix} \quad (24)$$

Sehingga, untuk mendapatkan nilai ΔV didapatkan persamaan akhir sebagai berikut :

$$[\Delta V] = [BCBV][BIBC][I] \quad (25)$$

$$[\Delta V] = [DLF][I] \quad (26)$$

III. PENENTUAN LOKASI PEMASANGAN DG BERDASARKAN METODE K-MEANS CLUSTERING

A. Loss Sensitivity Factors



Gambar 2. Saluran Distribusi Sederhana

Metode *Loss Sensitivity Factors* (LSF) telah digunakan untuk menyelesaikan beberapa permasalahan yang muncul pada sistem jaringan distribusi, misalkan seperti penentuan lokasi pemasangan kapasitor dan DG [3]. Untuk dapat menghitung nilai LSF tiap node dalam sebuah sistem distribusi, sebelumnya perlu diketahui terlebih dahulu nilai beban dan tegangan pada setiap bus, arus dan daya yang mengalir pada setiap saluran dan rugi-rugi yang timbul pada setiap saluran yang didapatkan dengan perhitungan analisis aliran daya.

Gambar 2.6 menunjukkan saluran distribusi sederhana yang memiliki impedansi $R_{k,k+1} + jX_{k,k+1}$ dari bus k menuju ke bus $k+1$. Pada bus $k+1$ terdapat sebuah beban

$P_{k+1} + jQ_{k+1}$. Rugi daya aktif pada saluran antara bus k dan $k+1$ dirumuskan dalam persamaan 2.39 sebagai berikut. [3]

$$P_{Loss_{k,k+1}} = (I_{k,k+1})^2 * (R_{k,k+1}) \quad (27)$$

$$P_{Loss_{k,k+1}} = \left(\frac{(P_{k+1})^2 + (Q_{k+1})^2}{|V_{k+1}|^2} \right) * (R_{k,k+1}) \quad (28)$$

Nilai LSF dapat dinyatakan dengan turunan persamaan 30 terhadap P_{k+1}

$$\frac{\partial P_{Loss_{k,k+1}}}{\partial P_{k+1}} = \frac{2 * P_{k+1} * R_{k,k+1}}{|V_{k+1}|^2} \quad (29)$$

$$LSF = \frac{2 * P_{k+1} * R_{k,k+1}}{|V_{k+1}|^2} \quad (30)$$

Setelah mendapatkan penyelesaian aliran daya, nilai pada tiap bus dicari menggunakan persamaan. Nilai LSF kemudian di normalisasi dalam rentang 0-1 dengan definisi bahwa 1 adalah nilai sensitivitas terbesar dan 0 adalah nilai sensitivitas terkecil. Proses normalisasi LSF dilakukan setelah mendapatkan semua nilai LSF dari setiap node dalam sistem yang kemudian ditentukan nilai LSF terbesar sebagai LSF_{max} dan nilai LSF terkecil sebagai LSF_{min} . Normalisasi LSF (l) dihitung menggunakan persamaan 31 berikut, [13]

$$l = \frac{LSF - LSF_{min}}{LSF_{max} - LSF_{min}} \quad (31)$$

Nilai normalisasi deviasi tegangan (dU) setiap bus dalam sistem didapatkan dari hasil perbandingan antara nilai deviasi tegangan setiap bus (dV) dengan tegangan sistem (V_n), deviasi tegangan merupakan selisih antara nilai tegangan sistem (V_n) dengan nilai tegangan pada suatu bus (V_k) didefinisikan dalam persamaan 32 berikut,

$$dV = V_n - V_k \quad (32)$$

$$dU = \frac{dV}{V_n} \quad (33)$$

Nilai normalisasi LSF (l) dan normalisasi deviasi tegangan (v) dari setiap node/bus dalam sistem jaringan distribusi ini kemudian akan digunakan sebagai masukan untuk metode *K-means Clustering*.

B. Metode *K-means Clustering*

Pada tahap awal metode ini, jumlah K cluster didefinisikan terlebih dahulu. Kemudian tentukan nilai pusat (*centroid*) masing-masing cluster. Objek data yang digunakan untuk metode ini adalah nilai normalisasi LSF dan dV . Selanjutnya *K-means* menguji masing-masing LSF dan dV dari setiap bus dan mengelompokkannya ke salah satu *centroid* yang telah ditentukan sebelumnya berdasarkan jarak minimum antara objek data dengan masing-masing *centroid* yang ada. Nilai masing-masing *centroid* akan dihitung kembali dengan menghitung nilai rata-rata objek data yang masuk kedalam kelompoknya. Iterasi ini akan terus dilakukan sampai pada kondisi konvergen yaitu dimana nilai *centroid* tidak lagi berubah atau sama dengan sebelumnya.

Secara lebih detail, algoritma *K-means Clustering* adalah sebagai berikut,

1. Definisikan jumlah K cluster

Jumlah *cluster* ditentukan dengan persamaan 34 berikut, [14]

$$K \approx \sqrt{\frac{n}{2}} \quad (34)$$

K = jumlah *cluster*

n = jumlah data

2. Inisiasi nilai pusat (*centroid*) masing-masing *cluster*.

Nilai *Centroid* dapat ditentukan dengan nilai acak atau dipilih dari K objek data pertama [13]

3. Hitung jarak setiap data dengan *centroid* tiap *cluster*.

Jarak yang digunakan adalah *Euclidean Distance* sesuai persamaan berikut

$$d(x_j, C_j) = \sqrt{\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m (x_j - C_i)^2} \quad (35)$$

4. Kelompokkan setiap data ke salah satu *cluster* dengan jarak yang terdekat.

5. Hitung kembali nilai *centroid* dari *cluster* sebagai nilai rata-rata dari seluruh data dalam masing-masing *cluster*.

6. Cek nilai *centroid*

Bila nilai *centroid* bergeser/berubah dari nilai *centroid* sebelumnya, maka kembali ke langkah 3. Namun bila nilai *centroid* setiap *cluster* tidak berubah (konvergen), maka proses *K-means* telah selesai. [15]



Gambar 3. Flowchart *K-means Clustering*

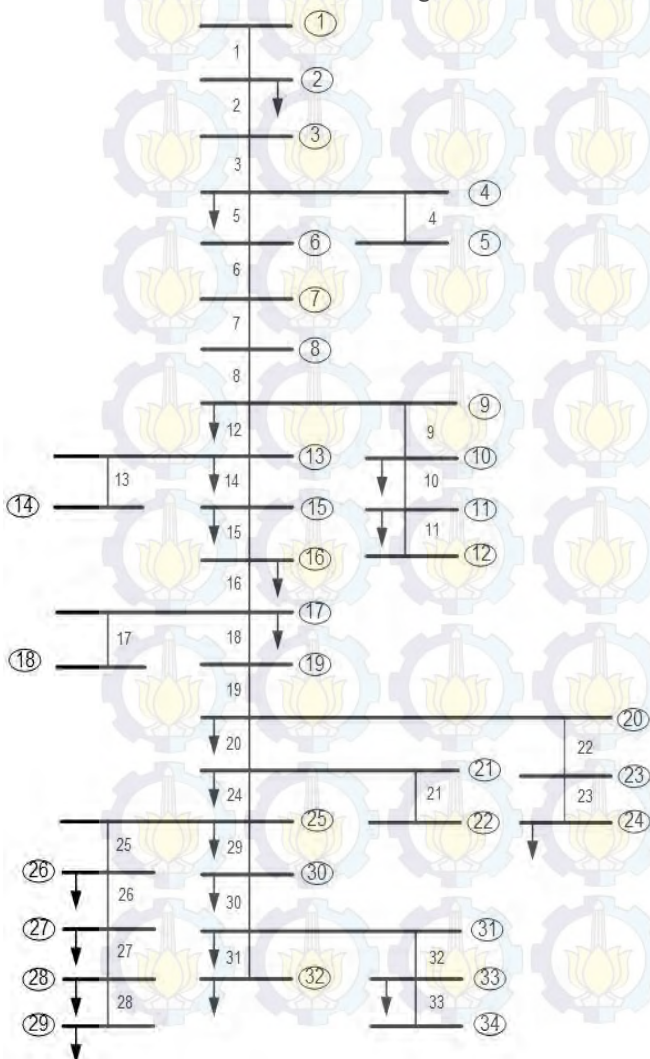
C. Penentuan Kandidat Bus pemasangan DG

Dari hasil pengelompokan/*clustering* yang sudah dilakukan pada langkah sebelumnya, kandidat bus untuk pemasangan DG dapat ditentukan dari setiap kelompok/*cluster* [13]. Setelah mendapatkan hasil pengelompokan untuk setiap bus dalam sistem, setiap kelompok/*cluster* akan dirangking berdasarkan rata-rata dari nilai normalisasi LSF dan deviasi tegangan dari setiap anggota kelompoknya. Nilai tersebut kemudian disebut dengan indeks *ranking cluster*. Setelah mendapatkan *ranking cluster* kemudian setiap bus dalam masing-cluster juga dirangking berdasarkan nilai normalisasi LSF dan deviasi tegangan (indeks *clustering*).

Setiap bus yang memiliki nilai indeks clustering tertinggi dari setiap *cluster* akan menjadi kandidat untuk pemasangan DG pada sistem jaringan distribusi. Urutan kandidatnya ditentukan berdasarkan *ranking* dari masing-masing cluster. Bila bus A merupakan bus dengan profil indeks *clustering* terbesar dari *cluster* 1 yang juga merupakan *cluster* dengan profil indeks *ranking cluster* terbesar dari semua *cluster* yang ada, maka bus A akan menjadi kandidat pertama dari pemasangan DG tersebut.

IV. HASIL PENGUJIAN DAN ANALISIS

Dalam tugas akhir ini digunakan sistem distribusi *test feeder* IEEE 34. Single line diagram, data saluran dan data beban dari IEEE 34 bus diberikan sebagai berikut :



Gambar 4. Single line diagram Sistem IEEE 34 bus

TABEL 1
DATA SALURAN SISTEM IEEE 34 BUS

Saluran		Impedansi		Saluran		Impedansi	
Bus	Bus	R (Ω)	X (Ω)	Bus	Bus	R (Ω)	X (Ω)
1	2	0.64988	0.65775	17	19	13.4104	9.9062
2	3	0.43577	0.44105	19	20	0.00364	0.00269
3	4	8.11854	8.21681	20	21	1.78416	1.31795
4	5	1.02577	0.5443	21	22	0.28631	0.15192
4	6	9.44602	9.56036	20	23	3.936	8.452
6	7	7.4888	7.57946	23	24	2.66	2.6922
7	8	0.00364	0.00269	21	25	2.12279	1.5681
8	9	0.11287	0.08338	25	26	0.10195	0.07531
9	10	0.30221	0.16036	26	27	0.49155	0.36311
10	11	8.50984	4.51558	27	28	1.32538	0.97905
11	12	2.42835	1.28855	28	29	0.19298	0.14255
9	13	3.71762	2.74619	25	30	0.73551	0.54332
13	14	0.53551	0.28415	30	31	0.97583	0.72084
13	15	0.30585	0.22593	31	32	0.3131	0.23131
15	16	7.4425	5.49776	31	33	0.10195	0.07531
16	17	0.1893	0.13986	33	34	0.5896	0.43605
17	18	4.1232	2.18792				

TABEL 2
DATA BEBAN SISTEM IEEE 34 BUS

Bus	P (kW)	Q (kVAR)	Bus	P (kW)	Q (kVAR)
2	0.0180	0.1000	18	0.0000	0.0000
3	0.0000	0.0000	19	0.0000	0.0000
4	0.0050	0.0030	20	0.0050	0.0020
5	0.0000	0.0000	21	0.0110	0.0060
6	0.0000	0.0000	22	0.0000	0.0000
7	0.0000	0.0000	23	0.0000	0.0000
8	0.0000	0.0000	24	0.1500	0.0750
9	0.0200	0.0010	25	0.0490	0.0240
10	0.0110	0.0060	26	0.0030	0.0020
11	0.0450	0.0230	27	0.1500	0.1130
12	0.0000	0.0000	28	0.0080	0.0040
13	0.0150	0.0070	29	0.0200	0.0160
14	0.0000	0.0000	30	0.0470	0.0300
15	0.0020	0.0010	31	0.0130	0.0070
16	0.0150	0.0070	32	0.0090	0.0070
17	0.0010	0.0010	33	0.0090	0.0050

Pada penelitian ini dilakukan analisis penempatan DG dengan menggunakan metode *K-means Clustering* dengan menggunakan program MATLAB 2014a dan hasil dari *running* program akan di validasi dengan *software* ETAP 12.6. Analisis dilakukan untuk setiap *test feeder* yang diuji dalam penelitian ini dengan melihat hasil perbaikan nilai rugi-rugi daya dengan penempatan *single* hingga *multi* DG sesuai dengan hasil *K-means Clustering*.

A. Hasil Clustering dan Penentuan Lokasi DG

Sistem jaringan distribusi IEEE 34 bus memiliki jumlah objek data sebanyak 34. Sesuai dengan persamaan 34 maka jumlah *K-cluster* yang ditetapkan untuk sistem ini adalah sebanyak 4. Setelah dilakukan perhitungan aliran daya dilakukan pengelompokan bus menggunakan *K-means Clustering*. Total iterasi perhitungan untuk proses *clustering* sebanyak 5 kali. Kemudian setiap cluster diurutkan dan ditunjukkan pada Tabel 3. Dan hasil *Ranking* setiap bus dalam cluster yang akan menjadi kandidat bus yang akan dipasangkan DG dari setiap cluster ditunjukkan pada Tabel 4.7-4.10. Bus yang menjadi kandidat untuk pemasangan DG adalah Bus 24, 25, 30 dan 4.

TABEL 3
HASIL CLUSTERING DAN KANDIDAT BUS PEMASANGAN DG
PADA SISTEM IEEE 34 BUS

Bus	LSF normalisasi	dV normlisasi	Indeks Clustering	Cluster
1	0.0000	0.0000	0.0000	2
2	0.0251	0.0012	0.0131	2
3	0.0000	0.0019	0.0009	2
4	0.0895	0.0151	0.0523	2
5	0.0000	0.0151	0.0075	2
6	0.0000	0.0303	0.0151	2
7	0.0000	0.0423	0.0211	4
8	0.0000	0.0423	0.0211	4
9	0.0053	0.0424	0.0239	4
10	0.0078	0.0425	0.0251	4
11	0.8946	0.0433	0.4689	3
12	0.0000	0.0433	0.0217	4
13	0.1313	0.0472	0.0893	1
14	0.0000	0.0472	0.0236	4
15	0.0014	0.0476	0.0245	4
16	0.2683	0.0568	0.1626	1
17	0.0005	0.0570	0.0288	4
18	0.0000	0.0570	0.0285	4
19	0.0000	0.0732	0.0366	4
20	0.0000	0.0732	0.0366	4
21	0.0490	0.0747	0.0618	4
22	0.0000	0.0747	0.0373	4
23	0.0000	0.0753	0.0377	4
24	1.0000	0.0764	0.5382	3
25	0.2607	0.0764	0.1685	1
26	0.0008	0.0764	0.0386	4
27	0.1849	0.0767	0.1308	1
28	0.0266	0.0768	0.0517	4
29	0.0097	0.0768	0.0432	4
30	0.0867	0.0765	0.0816	4
31	0.0318	0.0766	0.0542	4
32	0.0071	0.0766	0.0418	4
33	0.0023	0.0766	0.0395	4
34	0.0000	0.0766	0.0383	4

Tabel 3 menunjukkan hasil clustering setiap bus dalam sistem IEEE 34 bus. Kandidat bus untuk pemasangan DG didapatkan dengan mencari bus dengan indeks clustering terbesar. Nilai indeks clustering didapatkan dari rata-rata nilai normalisasi LSF (I) dan deviasi tegangan (dV) setiap bus. Kandidat tersebut adalah bus 4 dari cluster 2, bus 24 dari cluster 3, bus 25 dari cluster 1 dan bus 30 dari cluster 4.

TABEL 4
RANGKING CLUSTER SISTEM IEEE 34 BUS

No	Cluster	Indeks
1	3	0.5036
2	1	0.1378
3	4	0.0371
4	2	0.0148

Tabel 4 menunjukkan hasil *ranking* cluster pada sistem IEEE 34 bus. Nilai indeks yang digunakan untuk ranking cluster tersebut didapatkan dengan menghitung dan

mengurutkan rata-rata nilai I dan dU setiap anggotanya. Dengan mempertimbangkan hasil ranking tersebut dapat disimpulkan bahwa bus 24 menjadi kandidat 1, bus 25 menjadi kandidat 2, bus 30 menjadi kandidat 3 dan bus 4 menjadi kandidat 4.

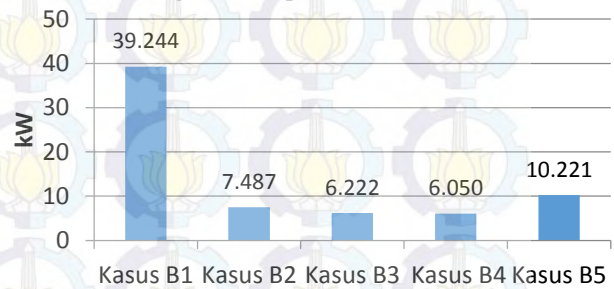
B. Studi Kasus

Terdapat 5 kasus yang akan dibahas untuk sistem jaringan IEEE 34 bus yang ditunjukkan pada Tabel 5. Total beban sistem jaringan IEEE 34 bus adalah 0,606 MW dan 0,44 MVAR, sesuai dengan kapasitas total DG adalah 0,303 MW dan 0,22 MVAR.

TABEL 5
STUDI KASUS PADA SISTEM IEEE 34 BUS

Kasus	Lokasi DG	Kapasitas per DG	
Kasus B1 – Base Case	Pasif (tanpa DG)	-	-
Kasus B2	Bus 24	0,303 MW	0,22 MVAR
Kasus B3	Bus 24 25	0,1515 MW	0,11 MVAR
Kasus B4	Bus 24 25 30	0,101 MW	0,074 MVAR
Kasus B5	Bus 24 25 30 4	0,0758 MW	0,055 MVAR

Total Rugi Saluran per Kasus dalam Kasus B



Gambar 5. Hasil simulasi kasus B

Hasil simulasi kasus B terlihat pada Gambar 5. Pemasangan DG sudah memberikan hasil pengurangan rugi daya yang signifikan pada saat pemasangan 1 DG pada bus 24 yakni menjadi 7,487 kW. Nilai rugi daya semakin turun pada saat pemasangan 2 DG pada bus 24 dan 25 menjadi 6,222 kW. Hasil terbaik untuk memperbaiki nilai rugi saluran didapatkan dengan penempatan 3 DG (kasus B4) pada bus 24, 25 dan 30 dengan nilai rugi daya yang dapat diturunkan hingga 6,050 kW. Pada saat pemasangan DG keempat, nilai rugi daya naik menjadi 10,221 kW. Hal ini mengindikasikan pemasangan DG keempat kurang efektif.

C. Hasil Validasi Analisis Aliran Daya

TABEL 6
STUDI KASUS PADA SISTEM IEEE 34 BUS

Kasus	P_{Loss} MATLAB (kW)	P_{Loss} ETAP (kW)	Error (%)
B1	39.2436	39.2312	0.0315%
B2	7.4874	7.4903	0.0389%
B3	6.2219	6.1790	0.6943%
B4	6.0499	6.0493	0.0093%
B5	10.2212	10.1775	0.4291%

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil yang didapatkan dari simulasi dan analisis pada tugas akhir ini, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Metode penentuan DG menggunakan *K-means Clustering* memiliki konvergensi yang cepat. Untuk sistem jaringan IEEE 34 bus membutuhkan 5 kali iterasi.
2. Hasil perhitungan aliran daya aktif pada kasus IEEE 34 bus (Kasus B) memiliki perbaikan nilai losses saluran terbaik pada kasus 4B yaitu pada saat pemasangan 3 DG dengan nilai losses menjadi 6,0499 kW atau turun 84,58% dari nilai losses awal.
3. Hasil Validasi untuk nilai tegangan dan losses memiliki nilai error terbesar untuk tegangan yaitu 0,021% pada kasus 7A dan untuk losses yaitu 0,6943% pada kasus 3A
4. Dengan total kapasitas DG yang sama dan pembagian kapasitas yang sama pada tiap DG, jumlah efektif pemasangan DG pada sistem berjumlah 3-4 DG.
5. Penambahan jumlah DG yang semakin banyak kurang efisien sebagai solusi perbaikan nilai rugi daya karena terlihat pada kasus nilai DG yang semakin banyak tidak membuat nilai rugi daya semakin turun, sebaliknya nilai rugi daya justru naik.
6. Metode *K-means clustering* dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam menentukan lokasi pemasangan DG

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Mohamed Imran a, M. Kowsalya, D.P. Kothari. "A novel integration technique for optimal network reconfiguration and distributed generation placement in power distribution networks". *Electrical Power and Energy Systems* 63, 461–472 ELSEVIER, Juli 2014.
- [2] Juan Andrés Martín García 1, Antonio José Gil Mena. "Optimal distributed generation location and size using a modified teaching-learning". *Electrical Power and Energy Systems* 50, 65–75. ELSEVIER Maret 2013.
- [3] N. V. V. Karunakar.Jureedi, K. M. Rosalina, N. Prema Kumar. "Clustering Analysis and its Application in Electrical Distribution System". *International Journal of Electrical, Electronics and Computer Systems (IJECS)*. 2013.
- [4] Saadat, Hadi "Power System Analysis", WCB McGraw-Hill, 1999
- [5] Kersting, William H. "Distribution System Modeling and Analysis". CRC Pres, America, 2002
- [6] D. Bhujel, B. Ahikary, A. K. Mishra, Phd. "A Load Flow Algorithm for Radial Disribution System with Distributed Generation", IEEE ICSET, Nepal, 2012.
- [7] U.Eminogiu and H.Hocaoglu, " ". Department of Electronics Engineering, Gebze Institute of Technology. Kocaeli, Turkey, Januari 2009
- [8] Janev Vanco., "Implementation and Evaluation of a Distribution Load Flow Algorithm for Networks with Distributed Generator", semester work, Swiss Federal Institute of Technology. Zurich, 2009
- [9] Priyanka Paliwal, N. P. Patidar, R. K. Nema, "Planning of grid integrated distributed generators: A review of technology, objectives and techniques". *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 40, 557–570, ELSEVIER, Agustus 2014.

- [10] S.G Bharathi Dasan and S.Selvi Ramalakshmi, "Optimal Siting and Sizing of Hybrid Distributed Generation using EP", Thrid International Conference on Power System, Kharagpun, India, 2009.
- [11] Ackermann Thomas, Andersson Goran, Soder Lennart. "Distributed Generation : a definition". *Electric Pwer System Research*, Zurich, Swiss, Desember 2000.
- [12] D. Johan, B. Rnnie, "Distributed Generation in Future Grid". Kuleuven-ESAT/ELECTA, 2003.
- [13] Trupti M. Kodiariya, Prashant R Makwana. "Review on determining number of cluster in K-means Clustering". *International Journal of Advance Research in Computer Science and Management Studies*, November 2013.
- [14] Wu Junjie. "Advance in K-means Clustering" Springer Pres, 2012.
- [15] Florina Scarlatache, Gheorghe Grigoraş, Gianfranco Chicco, Gheorghe Cârţină. "Using k-Means Clustering Method in Determination of the Optimal Placement of Distributed Generation Sources in Electrical Distribution Systems". IEEE 2012.
- [16] S. Gopiya Naik, D.K Khatod, M.P. Sharma, "Optimal Allocation of Combined DG and Capacitor for Real Power Loss Minimization in Distribution Networks", *Electrical Power and Energy System*, Juni 2013.
- [17] M. Ettehadi, H. Ghasemi, S. Vaez-Zadeh. "Voltage Stability DG Placement in Distribution Network". *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol 28, Januari 2013.

BIOGRAFI PENULIS



Penulis bernama lengkap Muhammad Alief Amanullah, merupakan anak pertama dari empat bersaudara. Dilahirkan pada 25 Agustus 1994 di Kota Cirebon oleh pasangan Ibu Komariah dan Bapak Suhartono. Penulis besar di Jerman karena harus mengikuti sang Ayah yang berprofesi sebagai seorang diplomat. Sejak 2001 penulis dan keluarga kembali ke Indonesia dan menetap di Jakarta. Mengawali pendidikan di SDIT Al-Hikmah Jakarta sampai dengan 2006 kemudian penulis melanjutkan pendidikan menengahnya di SMPN 41 Jakarta sampai dengan 2009 dan melanjutkan pendidikan menengah atasnya di SMAN 28 Jakarta hingga lulus pada tahun 2012. Sejak tahun 2012 penulis terdaftar sebagai Mahasiswa Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, bidang studi Teknik Sistem Tenaga. Selama menempuh pendidikan di ITS, penulis aktif di Himpunan Mahasiswa sebagai bagian dari PSDM HIMATEKTRO selama dua kepengurusan dan juga aktif pada gerakan anti korupsi yang dinaungi oleh komunitas FLAC Surabaya. Penulis dapat dihubungi melalui email alief.amanullah@gmail.com.